
انجمن مهندسی روسازی ایران


انجمن بتن ایران

نشریه مهندسی عمران فردوسی

https://civil-ferdowsi.um.ac.ir/



ارزیابی اثر فضایی سهم انواع کاربری‌های زمین در وقوع تصادفات (مطالعه موردی: شهر شیراز) *

مقاله پژوهشی

محمد صدیق باور[۱]   علی نادران[۲]   محمود صفارزاده[۳]

DOI: 10.22067/jfcei.2023.80945.1214

چکیده *نوع کاربری زمین در هر ناحیه ترافیکی مهمترین عامل تعیین کننده تعداد وسایل نقلیه، ویژگی‌های هندسی و ترافیکی در آن ناحـ یه می‌با شد. ˝کاهش تراکم ، تنوع انواع وسایل نقلیه و کاهش تصادفات ، یکی از مهمترین دغدغه‌های مهندسین حمل و نقل می باشد. هر دلیلی در محیط شهری که با عث تراکم و جذب وسایل نقلیه در زمان‌های خاصی گردد احتمال وقوع تصادف را در آن ناحیه بالا می برد. در این مطالعه به منظور بررسی تاثیر سهم انواع کاربری ها در هر یک از نواحی ترافیکی شهر شیراز بر احتمال وقوع تصادف، از روش دو مرحله‌ای شامل: شناسایی انواع کاربری‌های تاثیرگذار در بروز تصادف ، همچ نین ا ثرات فضایی بین متغیرهای مستقل و داده‌های تصادف در فضا استفاده گردیده است ، همچنین از روش‌های تخمین چگالی کرنل به منظور یـافتن پهنـای بانـد مناسـب جستجوی مشاهدات، رگرسیون وزن دار جغرافیایی و رگرسیون پواسن وزن دار جغرافیایی به منظور بررسی اثرات فضایی تاثیر سهم انـواع کـاربری‌هـا بـر وقـوع تصادف استفاده شده است. نتایج مطالعه نشان داده است که از بین مدل‌های مذکور، مدل محلی رگرسیون پواسن وزن دار جغرافیایی بر اساس معیارهـای صـحت سنجی عملکرد بهتری نسبت به مدل جهانی پواسن و مدل محلی رگرسیون وزن دار جغرافیایی دارد. همچنین وجود کـاربری مسـکونی، تجـاری، بـایر، متروکـه، اختلاط مسکونی و غیر مسکونی بیشترین تاثیر را در بروز تصادف دارند. بررسی اثرات فضایی انواع کاربری اراضی در هریک از نواحی ترافیکی کلان شهر شیراز که تا کنون در شهر شیراز با توجه به اطلاعات ماتریس مبدا و مقصد در نواحی ترافیکی ۳۲۵ گانه،طرح تفصیلی،آمار تصادفات سه ساله اخیـر بـا مـدل هـای سـه گانه صورت نپذیرفته است و این مطالعه می‌تواند به منظور انجام اقدامات میان و بلند مدت ایمنی بسیار حائز اهمیت باشد.*

واژه‌های کلیدی کاربری اراضی، رگرسیون پواسن وزن دار جغرافیایی، رگرسیون وزن دار جغرافیایی، تصادف، تخمین چگالی کرنل.

Evaluating the Spatial Effect of the Contribution of Different Types of Land Use in the Occurrence of Crashes (Case Study: Shiraz Metropolis)

Mohammad Sedigh Bavar   Ali Naderan   Mahmoud Saffarzadeh

Abstract *The type of land use in each traffic area zone is the most important factor determining the number of vehicles, geometric and traffic characteristics in that zone. Any factor in the urban environment that causes congestion and attraction of vehicles at certain times increases the probability of a crash in that area. The purpose of this study is to investigate the effect of the share of different types of uses in various traffic areas of Shiraz city on the probability of a crash. A two-step method, including identifying the types of uses influencing the occurrence of crashes and spatial effects between independent variables and crash data in space Kernel density estimate methods, has also been used to find the suitable bandwidth for searching observations. In order to investigate the spatial effects of land use types on crash incidence, geographically weighted regressions and geographically weighted Poisson regressions were used. Based on the validation criteria, the local GWPR model performs better than the global Poisson model and the local GWR model among the mentioned models. Additionally, the presence of residential, commercial, barren, and abandoned uses, as well as the mixing of residential and non-residential uses, significantly impact crashes. Investigating the spatial effects of land use types in each of the traffic areas of Shiraz metropolis, which has not been done so far in Shiraz city according to the information of the origin and destination matrix in 325 traffic areas, Land Use, accident statistics of the last three years with three models. And in this study, it can be very important in order to carry out medium and long-term safety measures.*

Key Words Land Use, Crash, Shiraz Metropolis, Kernel Density Estimate, Geographical Weighing Poisson Regression.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۱/۱۰/۱۵ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۲/۳/۲می‌باشد.

(۱) باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز.

(۲) نویسنده مسئول: استادیار، برنامه ریزی و مهندسی حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

Email: naderan@srbiau.ac.ir

(۳) استاد، برنامه ریزی و مهندسی حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

مقدمه

حوادث ترافیکی یکی از مهمترین عوامل مرگ و میر انسان در سراسر جهان به شمار می‌آید. ارزیابی اثر فضایی سهم انواع کاربری‌های زمین در وقوع تصادفات شناخت ویژگی‌های کاربری‌های اراضی، به شناسایی عوامل محیطی تاثیر گذار در تصادف کمک فراوانی خواهد کرد [1] .کاربری زمین یکی از مهمترین عوامل گسترش شبکه شهری و به دنبال آن افزایش حجم ترافیک است. مطالعات گوناگون نشان داده است که افزایش تراکم انواع کاربری‌ها در محیط‌های شهری باعث افزایش تعداد تصادف می‌گردد [2-4]. کاربری زمین به طور غیر مستقیم براساس حجم سفرهای جذب شده و تولید شده به دلیل افزایش برهم کنش وسایل نقلیه، افزایش تصادف را به دنبال دارد [5,6] .در مطالعات گذشته ارتباط مکانی بین تعداد تصادفات و تراکم انواع کاربری‌ها مورد بررسی قرار گرفته است و نشان داده شده است که تغییر الگوهای شهری نقش بسزایی در افزایش ایمنی شهری داشته است [7-9] .از طرفی دیگر افزایش تراکم و اختلاط انواع کاربری‌ها، تعداد تصادفات خصوصا عابران پیاده را افزایش داده است [2,10,11]. براساس مطالعات گذشته داده‌های شمارشی تصادف در موقعیت‌های مختلف دارای ناهمگنی فضایی هستند به این معنی که به دلیل وابستگی مکانی به محیط اطراف، نیازمند مدلسازی مکانی می-باشند تا بتواند همبستگی فضایی بین موقعیت تصادف و محیط اطراف را در مدل لحاظ کند بنابراین تحلیل مکانی داده‌های تصادف در برآورد رخ داد تصادف براساس متغیرهای محلی نسبت به مدل‌های سنتی دقت بالاتری دارد [12,13] .یکی از شناخته شده ترین مدل‌های آماری در تحلیل داده‌های تصادف مدل‌های رگرسیونی هستند و توسط محققان زیادی جهت برآورد فرآوانی تصافات استفاده گردیده اند [14-16]. اما باید توجه داشت بررسی ارتباط بین داده‌های تصادف و متغیرهای تاثیر گذار محیطی در رخ داد تصادف بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های جغرافیایی نتایج مطلوبی نخواهد داشت [17-19]، بنابراین مدل‌های آمار فضایی مانند مدل‌های رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی به منظور برآورد فرآورانی تصادفات با در نظر گرفتن ویژگی‌های جغرافیایی داده‌های تصادف و عوامل محیطی مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است [15,18,19]. در مدل‌های آمار فضایی انتخاب شجاع جستجو یا پهنای باند یکی از مهمترین معیارهای تحلیل داده‌های مکانی به شمار می‌آید که با استفاده از تخمین چگالی کرنل اندازه گیری می‌شود. اگر اندازه شعاع جستجوی تخمین چگالی کرنل به درستی انتخاب نشود ، نتایج مدلسازی دقت قابل قبول را ندارد ، لذا شعاع های جستجوی بالا باعث همپوشانی زیاد و انتخاب نواحی متراکم زیاد می‌گردد و از طرفی دیگر انتخاب شعاع جستجوی کم باعث می‌شود تعداد زیادی از مشاهدات در نظر گرفته نشود [20].در این مطالعه در گام اول به بررسی مهمترین عوامل محیطی تاثیر گذار بر رخ داد تصادف درون شهری براساس نوع کاربری پرداخته می شود و در گام دوم با انتخاب شعاع جستجوی مناسب فضایی تاثیر تراکم انواع کاربری‌ها و همچنین اختلاط انواع کاربری در سطح نواحی ترافیکی شهر شیراز پرداخته خواهد شد. بررسی اثر فضایی میان انواع کاربری اراضی در موقعیت‌های جغرافیایی مختلف (مبنای این مطالعه در سطح هر ناحیه ترافیکی (Traffic Area Zone(TAZ)) است) و رخ داد تصادف می‌تواند میزان اثرگذاری اقدامات ایمن سازی معابر شهری را افزایش دهد.

پیشینه پژوهش

اویانگ و همکاران در مطالعه خود به بررسی روشی جامع مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور درک اثرات محیطی بر تصادفات ترافیکی پرداختند آنها در مطالعه‌شان از بلوک‌های سرشماری (Census blocks) متغیرهای حمل و نقلی، شامل نوع تراکم، تنوع، طراح هندسی، دسترسی به مقصد، و فاصله تا مقصد جهت تحلیل داده های تصادف استفاده کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد طول خیابان و تراکم محیط کارگاهی در افزایش فراوانی تصادفات تاثیر گذار است. با این حال، افزایش تعداد تقاطعات نتیجه منفی در افزایش فراوانی تصادفات را نشان داد [6]. در مطالعه‌ای دیگر مرلین و همکاران به بررسی رابطه بین دسترسی به کاربری‌های مسکونی و احتمال رخ داد تصادف در یک دوره سه ساله در ایالت فلوریدا آمریکا پرداختند. آنها در مطالعه‌شان میزان دسترسی افراد به مناطق مسکونی براساس وسایل نقلیه مایل پیموده شده (VMT) (Vehicle Mail Travel) در رخ داد تصادف را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد مناطق تجاری با فاصله ۱۰ دقیقه‌ای از مناطق مسکونی، تعداد تصادفات کمتری نسبت به مناطق تجاری با فاصله ۲۰ تا ۳۰ دقیقه‌ای از مناطق مناطق مسکونی دارند [7,10]. مطالعات نشان داده است رابطه نظری بین دسترسی به کاربری‌های خاص و رخ داد تصادف دو طرفه بوده و اثر بالقوه در تعداد تصادفات دارد، به طوری که کاهش

فاصله دسترسی با کاهش مایل های پیموده شده وسیله نقلیه برای خانوارها مرتبط است، بنابراین احتمال رخ تصادفات نیز کمتر است [21]. مطالعات دیگر نشان داده است فاصله دسترسی به کاربری‌های خاص، افزایش احتمال وجود وسایل نقلیه مختلف در آن منطقه و به دنبال آن افزایش درگیری بین وسایل نقلیه و در نهایت رخ داد تصادف را به دنبال دارد [22,23]، بنابراین نوع کاربری‌های محیطی تاثیر بسزایی در افزایش فراوانی تصادف دارد [19,21,24]. با گسترش تکنولوژی و افزایش دسترسی به اطلاعات مکانی، استفاده از داده‌های مکانی تصادف جهت تحلیل عوامل موثر بر تصادف در سال‌های اخیر مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است [25]. مطالعات نشان داده است که تعداد تصادفات در پاسخ به تغییر الگوهای ترافیکی و حجم وسایل نقلیه، از نظر مکانی به صورت پویا در نوسان هستند (دارای ناهمگنی فضایی هستند) و بیشتر تصادفات نزدیک به مراکز تجاری و شغلی رخ می دهند تا مناطق مسکونی [18,26]. علاوه بر آن براساس مدل‌های تاخیر فضایی تحلیل تصادفات، رابطه تعداد تصادفات وسایل نقلیه موتوری با تراکم جمعیت، شغل و ویژگی‌های جاده معنادار به دست آمده است ،که نشان می‌دهد تصادفات با توجه به فعالیت های مختلف ایجاد سفر دارای پراکندگی در فضا هستند و در طول روز به طور قابل توجهی تغییر می کنند [9,27]. بنابراین استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی کاربری (GIS) به دلیل استفاده از همبستگی فضایی، می‌تواند ارتباط فضایی معیارهای مواجهه تصادف را در پیش‌بینی تصادفات لحاظ کند و در نتیجه نتایج قابل قبولی را ارائه نماید [12,28]. علاوه بر سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی تعمیم یافته و رگرسیون پواسن وزن دار جغرافیایی با در نظر ارتباط فضایی بین داده‌های تصادف و عوامل مواجه محیطی مورد توجه محققان قرار گرفته است. در برخی از مطالعات ماتریس همبستگی ایجاد شده بین متغیرهای مستقل درجه بالایی از همبستگی بین تراکم جمعیت با منطقه مسکونی را نشان داده است. همچنین تحلیل رگرسیون خطی تعمیم‌یافته نشان می‌دهد که تراکم اشتغال، تراکم مسکونی و طول راه با تصادفات ترافیکی معابر همبستگی فضایی مثبت دارند در حالی که کاربری مخلوط زمین با تصادفات ترافیکی معابر همبستگی منفی دارد [23]. علاوه مدل‌های فضایی گفته شده، ارتباط فضایی برخوردهای ترافیک معابر با استفاده از مدل بیز تجربی در بررسی ارتباط بین الگوهای مختلف طرح هندسی راه و تعداد تصادفات نتایج مطلوبی ارائه نموده است [17]. مطالعات دیگر نشان داده است که اختلاط کاربری متوسط در سطح نواحی ترافیکی مهمترین عامل رخ داد تصادفات است. بنابراین این نواحی باید در اولویت اقدامات افزایش ایمنی قرارگیرند [28].

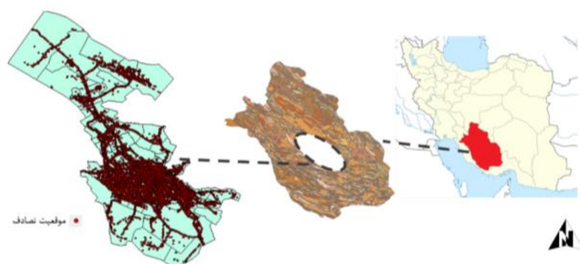
همچنین بررسی فضایی بین رخ داد تصادف و عوامل محیطی نشان داده است، مناطق تجاری همبستگی فضایی بالایی با تصادفات جرحی و فوتی دارند ، در حالی که متغیرهای جمعیت شناختی با میزان جراحات عابر پیاده و دوچرخه همبستگی فضایی بالاتری دارد [6].

با مروری بر مطالعات گذشته دریافتیم که تراکم و نوع کاربری‌ها از مهمترین عوامل محیطی تاثیرگذار در رخ داد تصادف هستند، بنابراین شناسایی میزان تاثیرگذاری انواع کاربری‌ها بر رخ داد تصادف از اهمیت بالایی برخوردار است، همچنین داده‌های تصادف دارای ناهمگنی فضایی هستند. پدیده‌ای که با همبستگی مکانی شناخته می‌شود، یعنی علاوه بر تاثیر متغیرهای محیطی در رخ داد تصادف، ویژگی‌های محلی هر تصادف از یک موقعیت به موقعیت دیگر متفاوت است. لذا بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های محلی و ارتباط فضایی آن‌ها با یکدیگر، مدل‌های آماری نتایج مطلوبی ارائه نخواهند کرد. باتوجه به بررسی‌های انجام گرفته با توجه به اهمیت زیاد تراکم انواع کاربری‌ها در تولید و جذب سفر یک ناحیه ترافیکی و به دنبال آن افزایش درگیری بین وسایل نقلیه و کاربران راه در مطالعات گذشته ارتباط فضایی بین تعداد تصادفات و انواع کاربری اراضی براساس نواحی ترافیکی مورد بررسی قرار نگرفته است. علاوه برآن تاثیر همزمان تراکم انواع کاربری‌ها و همچنین اختلاط چند کاربری در یک ناحیه ترافیکی نیز در نظر گرفته نشده است (بررسی اثرات فضایی انواع کاربری اراضی در هریک از نواحی ترافیکی کلان شهر شیراز که تا کنون در شهر شیراز با توجه به اطلاعات ماتریس مبدا و مقصد در نواحی ترافیکی ۳۲۵ گانه،طرح تفصیلی،آمار تصادفات سه ساله اخیر با مدل های سه گانه صورت نپذیرفته است) و این مطالعه می‌تواند به منظور انجام اقدامات عملیاتی میان و بلند مدت ایمنی بسیار حائز اهمیت باشد.

داده‌ها و روش تحقیق

محدوده این مطالعه، نواحی ترافیکی شهر شیراز مرکز استان فارس کشور ایران می باشد (شکل ۱). داده‌های این مطالعه از دو منبع گردآوری شده است: دسته اول داده‌های مکانی تصادف

درون شهری شهر شیراز از سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ مجموعا ۳۴۵۸۸ گزارش شده توسط پلیس راهور از معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری شیراز دریافت گردیده است، دسته دوم لایه‌های اطلاعاتی کاربری‌های اراضی شهر شیراز از معاونت شهرسازی شهرداری شیراز گردآوری گردید. اطلاعات توصیفی داده‌های این مطالعه در جدول (۱) نشان داده شده است. شهر شیراز دارای ۳۲۵ ناحیه ترافیکی می‌باشد و تنوع کاربری‌های اراضی در آن‌ها براساس مطالعات طرح جامع حمل و نقل به ۳۷ دسته تقسیم بندی شده است که در این مطالعه به منظور بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل و کاهش خطای آن در مدلسازی ابتدا براساس مدل همبستگی پیرسون متغیرهای مستقل مورد ارزیابی قرار گرفتند. متغیرهای که همبستگی بالایی داشتند، در گام اول به صورت تجمیعی با سایر متغیرهای مشابه در مدلسازی وارد شدند، پس از آن در صورت وجود همبستگی بین متغیرهای مستقل، تعدادی از متغیرها حذف گردید تا از خطای مدل ناشی از همبستگی بین متغیرهای مستقل کاسته شود. در نهایت براساس مدل پیرسون، کاربری‌های اراضی به ۱۴ دسته طبقه بندی شدند که کمترین میزان همبستگی را از خود نشان دادند (جدول ۲). کاربری‌های اراضی شناسایی شده این مطالعه براساس مساحت شامل : شبکه معابر، تعداد واحد مسکونی، تعداد واحد تجاری، فرهنگی و مذهبی، ورزشی، آموزشی، بهداشتی درمانی، فضای سبز و مزارع، اداری ستادی، صنایع و تاسیسات و حمل و نقل، بایر و مخروبه، مختلط مسکونی و غیر مسکونی، سایر کاربری ها شامل : گورستان، دامداری، نظامی، رودخانه می باشند. در این مطالعه در گام اول با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون همبستگی بین متغیرهای مستقل انجام گرفت و ۳۷ نوع کاربری براساس روش‌های تجمیعی و کاهش همبستگی به ۱۴ نوع کاربری تقلیل یافت. در گام دوم مطالعه با استفاده از روش تخمین چگالی کرنل شعاع جستجوی مناسب مشاهدات استخراج گردید و سپس براساس مدل‌های GWR (Geographical Weighing Regression) و GWPR (Poisson Regression Geographical Weighing) تاثیر متغیرهای مستقل با در نظر گرفتن همبستگی فضایی در برآورد فراوانی تصادفات شهر شیراز ارزیابی گردید.



شکل ۱ محدوده مورد مطالعه

جدول ۱ ویژگی‌های توصیفی متغیرهای مطالعه

متغیرها	حداقل	حداکثر	مجموع	میانگین	خطای استاندارد	واریانس
تعداد تصادفات	7.00	686.00	34588.00	106.42	84.34	7113.62
شبکه معابر	0.00	73.34	7960.66	24.49	11.00	120.97
مسکونی	0.00	70.18	9223.37	30.21	18.87	356.16
فرهنگی، مذهبی و جهانگردی	0.00	30.66	435.59	1.34	3.59	12.88
بهداشتی و درمانی	0.00	84.45	313.72	0.97	5.33	28.42
ورزشی	0.00	35.18	134.19	0.41	2.20	4.84
اداری ستادی	0.00	87.83	556.76	1.71	5.88	34.60
فضای سبز، مزارع و دامداری	0.00	86.59	2413.15	7.43	13.75	188.94
تجاری	0.00	30.44	670.48	2.06	3.97	15.75
تاسیسات، صنایع و حمل و نقل	0.00	94.26	1093.31	3.36	7.69	59.09
بایر و متروکه	0.00	94.31	3956.12	12.17	16.92	286.14
آموزشی	0.00	73.30	786.77	2.42	6.10	37.16
مختلط مسکونی و غیر مسکونی	0.00	14.16	667.19	2.05	2.52	6.34
مختلط غیر مسکونی	0.00	36.37	190.30	0.59	2.52	6.35
سایر کاربری	0.00	100.00	3504.81	10.78	25.45	647.94

جدول ۲ میزان همبستگی پیرسون بین متغیرهای مستقل

همبستگی پیرسون بین متغیرهای مستقل		شبکه معابر	مسکونی	فرهنگی، مذهبی و جهانگردی	بهداشتی و درمانی	ورزشی	اداری ستادی	فضای سبز مزارع و دامداری	تجاری	تاسیسات، صنایع و حمل و نقل	بایر و متروکه	آموزشی	مختلط مسکونی و غیر مسکونی	مختلط غیرمسکونی	سایر کاربری
شبکه معابر	همبستگی	1													
	معناداری														
مسکونی	همبستگی	.347**	1												
	معناداری	0													
فرهنگی، مذهبی، جهانگردی	همبستگی	-0.033	-.034	1											
	معناداری	0.558	.537												
بهداشتی، درمانی	همبستگی	-0.014	-.083	.019	1										
	معناداری	0.803	.138	.734											
ورزشی	همبستگی	0.051	-.071	.018	-.011	1									
	معناداری	0.362	.202	.743	.841										
اداری، ستادی	همبستگی	0.002	-.090	.064	.040	-.029	1								
	معناداری	0.966	.107	.252	.469	.604									
فضای سبز ، مزارع و دامداری	همبستگی	-0.105	-.192**	-.054	-.044	-.012	-.052	1							
	معناداری	0.058	.001	.330	.427	.830	.347								
تجاری	همبستگی	0.055	.070	.227**	.021	-.038	.067	-.122*	1						
	معناداری	0.323	.208	.000	.709	.494	.227	.028							
تاسیسات، صنایع و حمل و نقل	همبستگی	-0.009	-.130*	-.064	-.046	.028	-.047	-.112*	-.026	1					
	معناداری	0.866	.019	.251	.410	.615	.394	.044	.639						
بایر و متروکه	همبستگی	-.091	-.355**	-.089	-.105	.028	-.135*	-.125*	-.150**	.056	1				
	معناداری	.103	.000	.108	.059	.616	.015	.025	.007	.311					
آموزشی	همبستگی	-.007	-.080	.170**	.052	-.010	.124*	-.085	.008	-.034	-.096	1			
	معناداری	.898	.152	.002	.352	.861	.025	.125	.891	.538	.084				
مختلط مسکونی و غیر مسکونی	همبستگی	.151**	.449**	.143*	-.038	-.059	-.042	-.177**	.334**	-.045	-.241**	.015	1		
	معناداری	.006	.000	.010	.497	.289	.447	.001	.000	.415	.000	.783			
مختلط غیر مسکونی	همبستگی	.055	-.035	.139*	.043	-.015	.022	-.053	.116*	.038	-.085	-.023	.099	1	
	معناداری	.320	.531	.012	.435	.791	.690	.342	.037	.496	.125	.673	.075		

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

تخمین چگالی کرنل (Kernel Density) (KDE) (Estimate)

در آمار و احتمال، تخمین چگالی کرنل به فرایند تخمین تابع چگالی احتمال یک متغیر تصادفی با استفاده از نمونه‌های مشاهده‌شده از آن متغیر گفته‌می‌شود. معمولا فرض می‌شود نمونه‌های مشاهده شده به طور تصادفی و مستقل براساس تابع توزیع احتمال، توزیع شده‌اند. این روش به بررسی همبستگی مکانی وقایع نقطه‌ای مانند تصادف در یک شبکه

شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد [17].

برای جلوگیری از نتیجه گیری‌های نادرست باید از یک عملکرد هسته بی طرف (unbiased) استفاده شود. از این رو، از فرمولاسیون روش " equal split discontinuous kernel density function" در این مطالعه گردیده است. با استفاده از این رویکرد، عملکرد هسته شبکه برای دو مورد تعریف می‌شود: (۱) مرکز هسته q با یک گره و (۲) مرکز هسته q با دو گره همزمان. در حالت اول، عملکرد زیر طبق فرمول یک تعریف می‌شود.

$$k_q(p) = \begin{cases} 0 & \rightarrow d_s(q,p) \geq h \\ \dfrac{k(d_s(q,p))}{(n_{i1}-1)(n_{i2}-1)\ldots(n_{ik}-1)} & \rightarrow d_s(q,v_{ik}-1) \leq d_s(q,p) < d_s(q,v_{ik}) \end{cases} \quad (۱)$$

در این رابطه، k (x) یک تابع هسته پایه است، y مرکز هسته است، d فاصله بین مسیر y و x است، h پهنای باند است و درجه گره را از بین می‌برد.

در این حالت، مقدار عملکرد هسته همان عملکرد هسته پایه است تا زمانی که هسته در کوتاه‌ترین مسیر مستقر باشد و گره‌ای را شناسایی نکند ds(q,vi) >ds(p,q)>0 در غیر این صورت، هنگامی که به یک گره رسید، مقدار عملکرد هسته به همان اندازه به درجه گره تقسیم می‌شود، این روند تا رسیدن مرکز هسته به حد مرزی ادامه می‌یابد.

روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی (GWR)

رگرسیون وزنی جغرافیایی، یک روش رگرسیون محلی و فضایی است که برای مدل‌سازی روابط متغیر های فضایی استفاده می شود. تحلیل رگرسیون این امکان را به شما می دهد که به مدلسازی، بررسی و اکتشاف روابط مکانی بین داده ها بپردازید تا الگوهای مکانی عوامل مشاهده شده (متغیرهای مستقل) را بهتر درک کنید و پیش بینی صحیحی را برپایه این عوامل ارائه دهید.در رگرسیون‌های آمار کلاسیک، نظیر رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) فرض ما بر آن است که رابطه‌ای که می‌خواهیم بین یک متغیر وابسته و تعدادی متغیر مستقل مدل‌سازی کنیم، در سراسر محدوده مورد مطالعه یکسان است که در بسیاری از موارد چنین فرضی صحیح نیست [29].

در مدل GWR بر خلاف مدل OLS ضرایب یا پارامترهای مدل در سطح منطقه مورد مطالعه، ثابت نیستند و به مختصات مکانی (وزن مکانی و جغرافیایی) وابسته‌اند و مقدار و علامت هر یک از آن‌ها دارای تغییرپذیری مکانی طبق فرمول دو است [29].

$$y_i = \beta_0(u_i,v_i) + \sum_k \beta_k(u_{i,}v_i)x_{ik} + \varepsilon_i \quad (۲)$$

این رابطه پارامترهای مدل، نشان داده شده توسط تابع $\beta_k(u_{i,}v_i)$ با توجه به مقادیر (u_i,v_i) متفاوت هستند، که نشانگر مختصات و طول و عرض جغرافیایی برای مشاهده (منطقه i است و در نتیجه یک مدل متفاوت با توجه به موقعیت مکانی و فضایی برای هر منطقه در مطالعه وجود دارد. همچنین فرضیه‌های مدل رگرسیون خطی کلاسیک برای GWR در جای خود باقی است.

رگرسیون پوآسن وزن دار جغرافیایی (GWPR)

رگرسیون وزن دار جغرافیایی برای هر متغیر (i) ماتریس وزنی تشکیل می‌دهد. این وزن‌ها مطابق با موقعیت هر متغیر متفاوت است. بدین ترتیب، موقعیت‌های نزدیک‌تر وزن بیشتری کسب می‌کنند. توزیع ناهمگن رابطه بین دو متغیر که مطابق با مکان می‌تواند مثبت یا منفی و قوی یا ضعیف باشد، می‌تواند با استفاده از تکنیک GWR در فضا منعکس شود. در یک رگرسیون وزن دار جغرافیایی، تعداد تصادفات توسط مجموعه‌ای از متغیرهای توضیحی پیش‌بینی می‌شود، که پارامترها مجاز به تغییر در فضا هستند. این مدل را می‌توان به‌صورت رابطه سه بازنویسی کرد.

$$\ln(\lambda_i) = \beta_0(u_i,v_i) + \beta_1(u_i,v_i)\ln(E_{vi}) + \sum_{k=1}^{k} \beta_k(u_i,v_i)x_{ij} \quad (۳)$$

در رابطه فوق (u_i,v_i) مختصات منطقه i را مشخص می‌کند. لازم به ذکر است که در مدل GWPR، $\beta_k(u_i,v_i)$ تابعی از مختصات مرکز ناحیه i است.

اعتبار سنجی مدل‌ها

برای ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل‌های رگرسیون وزن دار جغرافیایی از سه آماره برای اندازه‌گیری دقت برآورد استفاده شده است ، که ابتدا از AIC به‌عنوان نیکویی برازش استفاده خواهد شد، که کمترین مقدار این معیار، نشان دهنده برتری مدل است. معیار AIC طبق فرمول های چهارم تا نهم به قرار ذیل تعریف شده است [30]:

$$AIC = D + 2k, \quad (۴)$$

$$AIC_C = -2L(\beta, \alpha) + 2K + \frac{2K(K+1)}{n-k-1}, \quad (۵)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (۶)$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - p_i)^2} \quad (۷)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_i - p_i}{y_i}\right|}{n} \times 100 \quad (۸)$$

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^{n}|y_i - p_i|}{n} \quad (۹)$$

در روابط فوق D واریانس مدل را نشان می‌دهد و k تعداد پارامترها است. در GWPR، باید پارامترهای مؤثرتر در نظر گرفته شود.

علاوه بر دو معیار مذکور در این مطالعه از معیارهای BIC و نیز R^2، R^2 تعدیل شده، RMSE، MAD، MSE، MAPE نیز استفاده گردیده است. براساس مطالعات قبلی مقدار کمتر AIC و AIC_C نشانه بهتر بودن مدل است، همچنین مقادیر R^2 و R^2 تعدیل شده هر چه قدر به یک و مقادیر خطا هرچه قدر به صفر نزدیکتر باشد نشان می‌دهد، مدل بهتر عمل کرده است. همچنین معیار ارزیابی BIC مانند AIC عمل می‌کند [20,23,27].

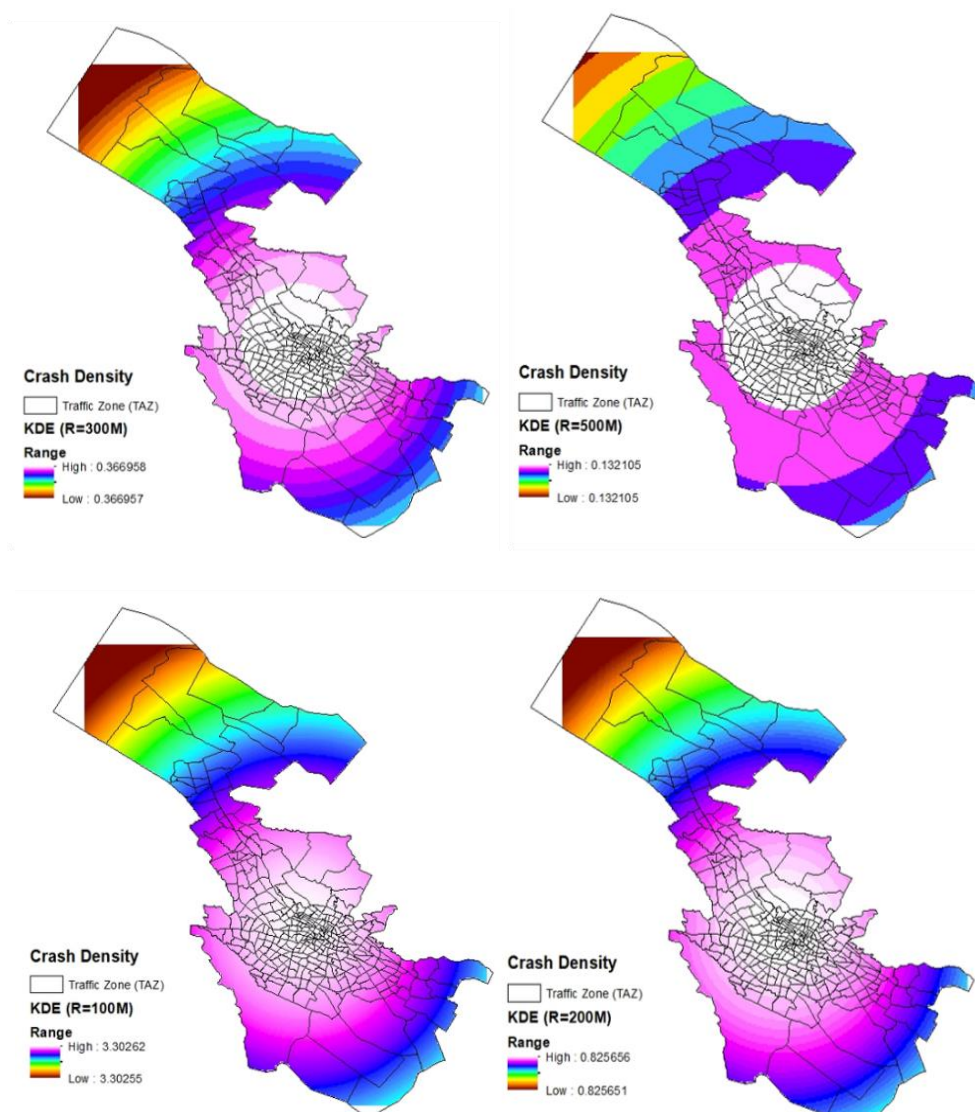
تحلیل نتایج

براساس جدول (۱) در این مطالعه برآورد تعداد تصادفات در ۳۲۵ ناحیه ترافیکی شهر شیراز با استفاده از متغیرهای کاربری اراضی مورد ارزیابی قرار گرفته است. از سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ تعداد ۳۴۵۸۸ تصادف در شهر گزارش شده است که به طور متوسط در هر ناحیه ترافیکی ۱۰۶ تصادف رخ داده است (حداقل ۷ و حداکثر ۶۸۶). شبکه معابر به طور متوسط ۲۴ درصد از مساحت کاربری هر ناحیه ترافیکی را به خود اختصاص داده است (حداقل ۰ و حداکثر ۷۳ درصد) که در برخی از نواحی مراکز شهری سهم کاربری معابر به طور قابل توجهی بیشتر از سایر کاربری‌ها بوده است. واحدهای مسکونی به طور متوسط ۱۸ درصد از مساحت نواحی ترافیکی را اشغال کرده اند که در برخی نواحی مسکونی با تراکم بالا تا ۷۰ درصد از مساحت نواحی ترافیکی را به خود اختصاص داده است (حداقل ۰ و حداکثر ۷۰ درصد). مجموع کاربری‌های فرهنگی، مذهبی و گردشگری به طور متوسط ۱٫۳ درصد از مساحت نواحی ترافیکی را به خود اختصاص داده‌هاست که حداکثر آن در مناطق بافت سنتی شهر شیراز تا ۳۰ درصد مساحت نواحی ترافیکی را به خود اختصاص داده است (حداقل ۰ و حداکثر ۳۰ درصد). مساحت کاربری بهداشتی درمانی به طور متوسط حدود ۱ درصد ، کاربری ورزشی حدود ۰٫۵ درصد، کاربری‌های اداری ستادی به طور متوسط ۱٫۷، کاربری زمین‌های بایر و متروکه به طور متوسط ۱۲ درصد، اختلاط کاربری‌های مسکونی و غیرمسکونی به طور متوسط ۴ درصد از مساحت نواحی ترافیکی می‌باشد.براساس جدول (۲) تقریبا بیش از ۹۰ درصد همبستگی بین متغیرهای مستقل در بازه قابل قبول (کمتر ۰٫۴) قرار گرفته است، همچنین سطح معناداری پیشگویی مقدار همبستگی در بین تعدادی از متغیرها قابل قبول گزارش شده است، اما در تعدادی دیگر، کم بودن مقدار همبستگی معنادار نبوده است، که دلیل آن می‌تواند وجود خطای بایاس در بین متغیرها باشد، که براساس مطالعات گذشته این خطا قابل چشم پوشی است [5]. همانگونه که در مقدمه اشاره گردید یکی از معیارهای مهم جهت مدلسازی به روش آمار فضایی انتخاب شعاع جستجوی مشاهدات است.

در این مطالعه ۴ شعاع جستجو به روش تخمین چگالی کرنل انجام گرفته است [12,15]. از بین آنها شعاع ۳۰۰ متر که بهترین پوشش دهی مقادیر مشاهدات را دارد، انتخاب گردیده است (شکل ۲). انتخاب شعاع جستجوی ۳۰۰ متر در مطالعات گذشته با دقت بالاتری مقادیر مشاهدات را در برگرفته است و در نتیجه نتایج مدل با دقت بالاتری گزارش شده است [17]. براساس جدول (۳) مساحت زمین بایر بیشترین عامل تاثیر گذار در رخ داد تصادف در نواحی ترافیکی بوده است ،که در اختلاط با سایر کاربری‌ها بیشتر بوده است. با توجه به رابطه نمایی مدل رگرسیون پواسن افزایش یک واحد مساحت کاربری زمین بایر در مدل محلی باعث می‌شود ۰٫۹۵ واحد احتمال رخ داد

تصادف افزایش یابد ،که در مـدل جهـانی ایـن مقـدار ۰٫۸۳ بـه دست آمده است که با سایر مطالعات مطابقت دارد [31].

افزایش یک واحد مساحت کاربری مسکونی در مدل محلی ۰٫۹۱ و در مدل جهانی ۰٫۹۷ در افزایش تعداد تصـادفات تـاثیر گذار بوده است که این نتایج با مطالعه [18] و همچنین اخـتلاط کاربری‌های مسکونی و غیر مسکونی در مدل محلی ۱٫۱۲ و در مدل جهانی ۱٫۱۷ واحد در افزایش فراوانی تصادفات تاثیر گذار بوده است، که مطالعه [14] تاثیر اخـتلاط کـاربری بـر افـزایش فراوانی تصادفات را تاییـد مـی‌کنـد. (بـرای تـاثیر سـایر انـواع کاربری‌ها به جدول (۳) مراجعه شـود). در جـدول (۳) مقـادیر منفی اختلاف انحراف معیار از مقدار بحرانی نشان می‌دهـد کـه متغیرهـا دارای همبسـتگی مکـانی هسـتند[11]. در جـدول (۴) نتایج اعتبار سنجی مدل‌ها گزارش شده است، که در آن مقـادیر کمتر AIC و AIC_C، مقادیر نزدیک به یک پارامتر R^2 و مقـادیر کمتـر پارامترهـای RMSE-MSE-MAPE-MAD نشـان دهنـده بهتر بودن مدل اسـت[7].براسـاس آن مـدل‌هـای محلـی دقـت بالاتری نسبت به مدل جهـانی دارنـد. نتـایج مطالعـه الماسـی و بهنود نیز نشان داده است کـه مـدل‌هـای محلـی در پـیش بینـی فراوانی تصادفات دقت قابل قبول تری دارند [5] و از بین مدل-های محلی مدل GWPR دقت بالاتری نسبت بـه GWR دارد. بنابراین ادامه مدلسازی براساس مدل بهینه GWPR انجام گرفته است.



شکل ۲ تخمین چگالی کرنل با شعاع های جستجوی متفاوت

جدول ۳ نتایج مدلسازی به روش محلی و جهانی

مقایسه نتایج مدل‌ها	نتایج مدل محلی (Local) رگرسیون پوآسن وزن دار جغرافیایی (GWPR)											نتایج مدل جهانی (Global) رگرسیون پوآسون			
متغیرهای توضیحی	میانگین	خطای استاندارد	حداقل	حداکثر	بازه	کران پایین	میانه	کران بالا	انحراف معیار	اختلاف با مقدار بحرانی	همبستگی فضایی	Estimate	Standard Error	z(Est/SE)	Exp (Est)
ثابت مدل	-0.332	2.946	-10.816	4.724	15.54	-1.987	-0.085	1.749	120754	-1153.32	دارد	1.695	0.061	27.792	5.446
شبکه معابر	-0.041	0.173	-0.653	0.813	1.633	-0.229	-0.13	0.034	1740.571	-1222.87	دارد	-0.176	0.006	-27.155	0.839
مسکونی	-0.089	0.197	-0.609	0.673	1.283	-0.209	-0.115	0.037	1340.571	-1289.87	دارد	-0.022	0.004	-5.942	0.978
فرهنگی–مذهبی– جهانگردی	0.000	0.055	-0.148	0.158	0.307	-0.042	-0.01	0.036	354.875	-304.90	دارد	0.053	0.004	14.075	1.054
بهداشتی–درمانی	0.0615	0.0590	-0.0924	0.205	0.298	0.019	0.058	0.096	391.153	-338.598	دارد	0.049	0.003	15.225	1.050
ورزشی	0.0213	0.054	-0.0945	0.147	0.241	-0.024	0.0260	0.065	295.599	-246.817	دارد	0.047	0.003	14.984	1.048
اداری ستادی	0.0366	0.0470	-0.086	0.143	0.229	0.004	0.0380	0.077	272.729	-225.382	دارد	-0.024	0.003	-6.912	0.976
فضای سبز و مزارع و دامداری	-0.010	0.044	-0.115	0.114	0.229	-0.039	-0.016	0.016	166.201	-117.349	دارد	-0.051	0.006	-8.209	0.950
تجاری	0.0158	0.119	-0.344	0.29	0.643	-0.054	0.010	0.081	315.221	-270.539	دارد	0.070	0.005	14.923	1.073
تاسیسات، صنایع و حمل و نقل	0.0733	0.0772	-0.106	0.314	0.420	0.0294	0.080	0.12	364.299	-320.511	دارد	0.127	0.006	22.149	1.135
بایر و متروکه	0.2422	0.154	-0.139	0.628	0.768	0.1135	0.246	0.369	530.742	-480.152	دارد	0.032	0.004	7.842	1.033
آموزشی	0.0423	0.0739	-0.111	0.231	0.343	-0.006	0.0390	0.084	189.347	-141.415	دارد	0.103	0.005	20.059	1.108
مختلط مسکونی و غیر مسکونی	0.1134	0.108	-0.070	0.502	0.573	0.0421	0.0955	0.176	722.293	-677.235	دارد	0.167	0.003	52.654	1.182
مختلط غیر مسکونی	0.0656	0.0861	-0.163	0.2161	0.379	0.0099	0.0694	0.135	246.652	-196.695	دارد	-0.176	0.006	-27.155	0.839
سایر کاربری	0.0483	0.099	-0.124	0.291	0.343	-0.006	0.029	0.064	242.637	-106.625	دارد	0.0473	0.083	-0.149	0.274

جدول ۴ اعتبار سنجی مدل‌ها

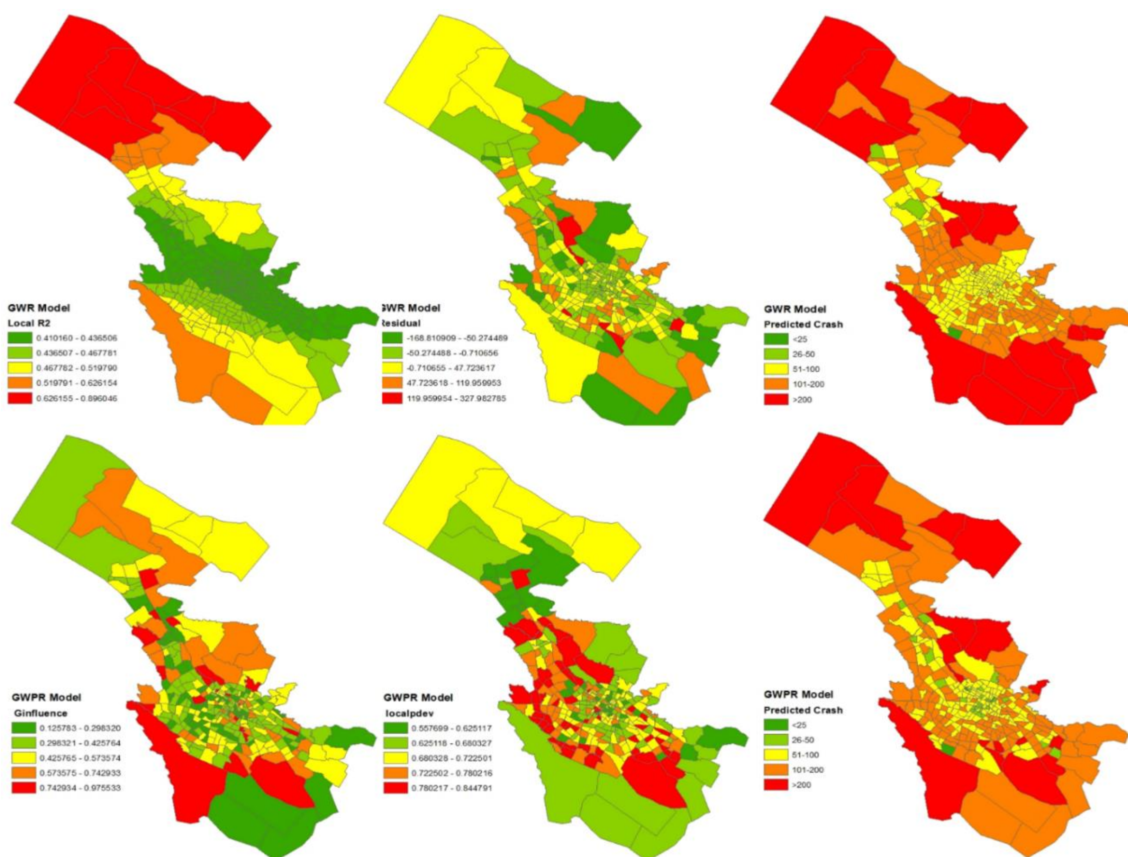
معیارها	مدل‌های محلی		مدل جهانی
	GWR	GWPR	Poison
AIC	4235.154	3898.41	9432.214
AIC_C	3585.21	3426.214	9434.0254
$\sum$	57.45	-	-
R^2	0.58	0.65	0.55
Adj R^2	0.53	0.59	0.51
BIC	-	4405.32	9482.614
RMSE	109.38	38.52	141.214
MSE	11964.85	1484.514	11975.214
MAPE	104.31	33.25	109.361
MAD	68.014	26.06	75.86

در شکل (۳) برآورد مقادیر متغیرهای مستقل در هریـک از نواحی در مدل محلی نشان داده شده است که براساس آن تـاثیر متغیر مساحت کاربری مسکونی در شمال شهر شیراز در رخ داد تصادف بیشتر از سایر نواحی ترافیکی بوده است، که بـا مطالعـه [15,19,32]مطابقت دارد. همچنین تاثیر کاربری فضـای سـبز و تفریحی در مراکز شهر بیشتر از سایر نواحی در رخ داد تصادف به دست آمده است. همچنین تاثیر صنایع، تجهیـزات و حمـل و نقل در رخ داد تصادف، در قسـمت جنـوبی و مرکـز مایـل بـه جنوب شهر شیراز بیشتر از سایر نواحی بـه دسـت آمـده اسـت (برای مشاهده تاثیر مساحت سایر کاربری‌ها در نواحی مختلـف ترافیکی به شکل (۳) رجوع شـود). در شـکل (۴) نتـایج پـیش بینی مدل‌های GWPR و GWR به همراه مقادیر باقی مانده ها و

R^2 برای تمامی نواحی ترافیکی نشان داده شده است، که براساس آن می‌توان دریافت در نواحی ترافیکی که مقدار R^2 به عدد یک نزدیکتر و مقادیر باقی‌مانده به صفر نزدیکتر باشد، مدل با دقت بالاتری فراوانی تصادفات را پیش بینی کرده است [23].



شکل ۳ برآورد متغیرهای مستقل در روش GWPR



شکل ۴ مقایسه نتایج مدلسازی GWR و GWPR

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه از یک رویکرد سیستماتیک جهت بررسی تاثیر مساحت انواع کاربری‌های زمین بر رخ داد تصادف در سطح نواحی ترافیکی شهر شیراز استفاده شده است. در این مطالعه در گام اول از بین ۳۷ نوع کاربری شهری، ۱۴ نوع کاربری انتخاب گردیده است. کاربری‌های انتخابی با ترکیب مساحت کاربری-های مشابه به منظور کاهش همبستگی بین متغیرهای مستقل انتخاب گردیده‌اند. در گام دوم با استفاده از روش تخمین چگالی کرنل شعاع جستجوی مناسب مشاهدات انتخاب گردیده است و در ادامه دو رویکرد مدلسازی محلی و جهانی اتخاذ شده است. نتایج مطالعه نشان داده است که مدل‌های محلی برازش بهتری نسبت به مدل جهانی در برآورد فراوانی تصادفات دارند، همچنین از بین دو مدل GWPR و GWR مدل اول نتیجه بهتری ارائه کرده است. در این مطالعه متغیرهای کاربری مسکونی، تجاری، زمین بایر و مختلط مسکونی مهمترین متغیرهای تاثیرگذار در افزایش رخ داد تصادف شناسایی شده اند [33]. بنابراین کنترل و مدیریت صحیح این کاربری‌ها تاثیر بیشتری بر کاهش تصادف نسبت به سایر کاربری‌ها دارد. در این مطالعه تاثیر اختلاف زیاد مساحت انواع کاربری‌ها در سطح نواحی ترافیکی بر رخداد تصادف کاملا محسوس است. در برخی نواحی ترافیکی تا ۸۰ درصد از مساحت ناحیه از یک نوع کاربری است و بالا بودن انحراف معیار، پراکندگی کاربری ها در سطح شهر را نشان می‌دهد. به عنوان مثال انحراف معیار بالای کاربری بهداشتی درمانی (جدول ۱) نشان می‌دهد که این کاربری کمترین اختلاط را با سایر کاربری‌ها در سطح نواحی دارند، از طرفی دیگر تجمع این نوع کاربری در نواحی ترافیکی خاص بیشتر از سایر کاربری‌ها دیده شده است. کاربری‌های ورزشی نیز مانند کاربری بهداشتی درمانی مساحت کمتری نسبت به سایر کاربری ها در نواحی ترافیکی به خود اختصاص داده‌اند. واریانس پایین (۴,۵ درصد) آن نشان می‌دهد اختلاط این نوع کاربری بیشتر از سایر کاربری‌ها می‌باشد [34] و با نسبت‌های متفاوت در سطح شهر پراکنده شده است. در کاربری اداری و ستادی با توجه به تراکم بسیار بالا (تا ۸۷ درصد مساحت ناحیه ترافیکی) در تعدادی از نواحی ترافیکی و همچنین واریانس کمتر نسبت به کاربری‌های مسکونی و تجاری نشان می‌دهد که پراکندگی این کاربری در سطح نواحی ترافیکی بیشتر در نتیجه اختلاط بیشتری با سایر کاربری‌ها دارند. همچنین با توجه به درصد مساحت بالا (۹۴ درصد) کاربری تاسیسات و صنایع در برخی از نواحی و همچنین واریانس بالا نشان می‌دهد پراکندگی این کاربری‌ها در سطح شهر شیراز کمتر و اختلاط کمتری با سایر کاربری‌ها دارد. به عبارت دیگر مساحت زیادی از این کاربری‌ها در نواحی ترافیکی محدودی تجمیع شده است، که نشان می‌هد سهم بالای یک کاربری در یک ناحیه ترافیکی تاثیر کمتری نسبت اختلاط انواع کاربری در افزایش فراوانی تصادفات دارد به گونه ای که نواحی ترافیکی با یک نوع کاربری بستگی به نوع کاربری به طور متوسط تاثیر بیشتری نسبت به نواحی ترافیکی با کاربری زمین مختلط در افزایش فراوانی تصادف دارد که در شکل (۳) نشان داده شده است [14,15,35]. در جدول (۳) مقادیر اختلاف انحراف معیار از مقدار بحرانی نشان می‌دهد، تمامی متغیرهای مستقل دارای همبستگی مکانی‌اند. بنابرین همانگونه که مورد انتظار بود مدل محلی نتایج قابل قبول تری نسبت به مدل جهانی ارائه کرده است [5]. همانگونه که در قسمت متدولوژی اشاره گردید مقادیر کمتر AIC، AIC_C و BIC و مقادیر خطا نشان دهنده برازش بهتر مدل و مقادیر R^2 و R^2 تعدیل شده هرچه به مقدار یک نزدیکتر باشد مدل بهینه تر است و با توجه به واریانس پایین ، همچنین اختلاف ۱۴ درصدی مساحت بین حداقل و حداکثر مقدار آن نشان می‌دهد این نوع اختلاط به طور وسیع در سطح شهر شیراز پراکندگی دارد. به طور کلی می‌توان گفت اثر فضایی در فضایی بین متغیرهای مستقل و وابسته در نواحی ترافیکی با اختلاط کاربری بالا، بیشتر از سایر نواحی ترافیکی دیگر است. همچنین مقادیر باقی مانده‌ها در شکل (۳) نشان داده است، برآورد فراوانی تصادفات در مناطق مرکزی شهر شیراز به مقادیر مشاهده شده نزدیکتر است و در سایر نواحی اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده بیشتر است، که نشان می‌دهد بیش پراکندگی داده‌ها در این نواحی بیشتر است [36]. نتایج این مطالعه می‌تواند جهت برنامه‌های عملیاتی میان و بلند مدت به منظور کاهش فراوانی تصادف با در نظر گرفتن اولویت بندی اقدامات ایمنی مورد استفاده قرار گیرد. نویسندگان این مطالعه پیشنهاد می‌کنند در مطالعات بعدی از روش توزیع دو جمله‌ای منفی که خاصیت بیش پراکندگی داده‌های تصادف را در نظر می‌گیرد جهت پیش بینی فراوانی تصادفات مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

مراجع

[1] G. Al-Hasani, M. Asaduzzaman, and A.H. Soliman, “Geographically weighted Poisson regression models with different kernels: Application to road traffic accident data Communications in Statistics: Case Studies,” Data Analysis and Applications, vol. 7, no. 2, pp. 166-181, 2021. https://doi.org/10.1080/23737484.2020.1869628

[2] S. A. Almasi, and H. R. Behnood, “Exposure based geographic analysis mode for estimating the expected pedestrian crash frequency in urban traffic zones; case study of Tehran,” Accident Analysis and Prevention, vol. 168, pp. 106576, 2022. https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106576

[3] S. A. Almasi, H. R. Behnood, and R. Arvin, “Pedestrian crash exposure analysis using alternative geographically weighted regression models,” Journal of advanced transportation, 2021. https://doi.org/10.1155/2021/6667688

[4] E. A. Atumo, H. Li, and X. Jiang, “Segment-Level Spatial Heterogeneity of Arterial Crash Frequency Using Locally Weighted Generalized Linear Models,” Transportation research record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 2677. no. 3, 2022. https://doi.org/10.1177/03611981221126510

[5] H. Bozdogan, “Model selection and Akaike's information criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions,” Psychometrika, vol. 52, no. 3, pp. 345-37, 1987. https://doi.org/10.1007/BF02294361

[6] M. Duan, H. Ya, L. Zhang, and H. Jia, “Traffic safety analysis of intersections between the residential entrance and urban road,” Procedia-Social and Behavioral Sciences, vol. 96, pp. 1001-1007, 2013. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.114

[7] M. Effati, and M. V. Saheli, “Examining the influence of rural land uses and accessibility-related factors to estimate pedestrian safety: The use of GIS and machine learning techniques,” International journal of transportation science and technology, vol. 11, no. 1, pp. 144-157, 2022. https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2021.03.005

[8] N. Fiorentini, D. Pellegrini, and M. Losa, “Overfitting Prevention in Accident Prediction Models: Bayesian Regularization of Artificial Neural Networks,” Transportation Research Record, vol. 2677, no. 2, 2022. https://doi.org/10.1177/03611981221111367

[9] L. Fuentes, R. Truffello, and M. Flores, “Impact of Land Use Diversity on Daytime Social Segregation Patterns in Santiago de Chile. Buildings,” buildings, vol. 12, no. 2, pp. 149, 2022. https://doi.org/10.3390/buildings12020149

[10] M. J. T. L. Gomes, F. Cunto, and A. R da Silva, “Geographically weighted negative binomial regression applied to zonal level safety performance models,” Accident Analysis & Prevention, vol. 106, pp. 254-261, 2017. https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.06.011

[11] H. Harirforoush, and L. Bellalite , “A new integrated GIS-based analysis to detect hotspots: a case study of the city of Sherbrooke,” Accident Analysis & Prevention, vol. 130, pp. 62-74, 2019. https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.08.015

[12] C.D. Kang, “The S+ 5Ds: Spatial access to pedestrian environments and walking in Seoul, Korea,” Cities, vol. 77, pp. 130-141, 2018. https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.01.019

[13] S. S. A. Kazmi, M. Ahmed, R. Mumtaz, and Z. Anwar, “Spatiotemporal clustering and analysis of road accident hotspots by exploiting GIS technology and Kernel density estimation,” The Computer Journal, vol. 65, no. 2, pp.

155-176, 2022. https://doi.org/10.1093/comjnl/bxz158

[14] H. Khaksar, S. A. Almasi, and A. A. Goharpoor, "Application of Geographical-Spatial Models in Predicting the Frequency of Road Crash (Case Study: Main Road Network of Hamadan Province)," Journal of Transportation Research, vol. 19, no. 1, pp. 45-58, 2022. https://doi.org/10.22034/tri.2021.250276.2815

[15] K. Kim, P. Pant, and E. Yamashita, "Accidents and accessibility: Measuring influences of demographic and land use variables in Honolulu, Hawaii," Transportation research record:Journal of the Transportation Research Board, vol. 2147, no. 1, pp. 9-17, 2010. https://doi.org/10.3141/2147-02

[16] W. Larson, F. Liu, and A. Yezer, "Energy footprint of the city: Effects of urban land use and transportation policies," Journal of Urban Economics, vol. 72, no. 2-3, pp. 147-159, 2012. https://doi.org/10.1016/j.jue.2012.05.001

[17] K. G. Le, P. Liu, and L.T. Lin, "Determining the road traffic accident hotspots using GIS-based temporal-spatial statistical analytic techniques in Hanoi, Vietnam," Geo-spatial Information Science, vol. 23, no. 2, pp. 153-164, 2020. https://doi.org/10.1080/10095020.2019.1683437

[18] K. G. Le, P. Liu and L.T. Lin, "Traffic accident hotspot identification by integrating kernel density estimation and spatial autocorrelation analysis: a case study," International journal of crashworthiness, vol. 27, no. 2, pp. 543-553, 2022. https://doi.org/10.1080/13588265.2020.1826800

[19] B. D. Leibowicz, "Urban land use and transportation planning for climate change mitigation: A theoretical framework," European Journal of Operational Research, vol. 284, no. 2, pp. 604-616, 2020. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.12.034

[20] J. Liu, A. J. Khattak, and B. Wali, "Do safety performance functions used for predicting crash frequency vary across space? Applying geographically weighted regressions to account for spatial heterogeneity," Accident Analysis & Prevention, vol. 109, pp. 132-142, 2017. https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.10.012

[21] S. Mathew, S. S. Pulugurtha, and S. Duvvuri, "Exploring the effect of road network, demographic, and land use characteristics on teen crash frequency using geographically weighted negative binomial regression," Accident Analysis & Prevention, vol. 168, pp. 106615, 2022. https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106615

[22] L. A. Merlin, C. R. Cherry, A. Mohamadi Hezaveh, and E. Dumbaugh, "Residential accessibility's relationships with crash rates per capita," Journal of Transport and Land Use, vol. 13,no. 1, pp. 113-128, 2020. https://www.jstor.org/stable/26967238

[23] L. A. Merlin, E. Guerra, and E. Dumbaugh, "Crash risk, crash exposure, and the built environment: A conceptual review," Accident Analysis & Prevention, vol. 134, pp. 105244, 2020. https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.07.020

[24] K. M. Peera, R. S. Shekhawat, and C. Prasad, "Traffic analysis zone level road traffic accident prediction models based on land use characteristics," International journal for traffic and transport engineering (Belgrade), vol. 9, no. 4, pp. 376-386, 2019. https://doi.org/10.7708/ijtte.2019.9(4).03

[25] L. Srikanth, and I. Srikanth, "A case study on kernel density estimation and hotspot analysis methods in traffic safety management," Paper presented at the 2020 International Conference on COMmunication Systems and Networks (COMSNETS), 2020. https://ieeexplore.ieee.org/document/9027448

[26] M. R. Stevens, “Does compact development make people drive less? ,”Journal of the American Planning Association, vol. 83, no. 1, pp. 7-18, 2017. https://doi.org/10.1080/01944363.2016.1240044

[27] P. Stoker, A. Garfinkel-Castro, M. Khayesi, W. Odero, M. N. Mwangi, M. Peden, and R. Ewing, “Pedestrian safety and the built environment: a review of the risk factors ,” Journal of Planning Literature, vol. 30, no. 4, pp. 377-392, 2015. https://doi.org/10.1177/0885412215595438

[28] H. Sung, S. Lee, S. Cheon, and J. Yoon, “Pedestrian Safety in Compact and Mixed-Use Urban Environments: Evaluation of 5D Measures on Pedestrian Crashes,” Sustainability, vol. 14, no. 2, pp. 646, 2022. https://doi.org/10.3390/su14020646

[29] M. Umair, I. A. Rana, and R. H. Lodhi, “The impact of urban design and the built environment on road traffic crashes: a case study of Rawalpindi, Pakistan,” Case studies on transport policy, vol. 10, no. 1, pp. 417-426, 2022. https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.01.002

[30] Y. Zhang, H. Lu, and W. Qu, “Geographical detection of traffic accidents spatial stratified heterogeneity and influence factors,” International journal of environmental research and public health, vol. 17, no. 2, pp. 572, 2020. https://doi.org/10.3390/ijerph17020572

[31] S. Zhong, Y. Jiang, and O. A. Nielsen, “Lexicographic multi-objective road pricing optimization considering land use and transportation effects,” European Journal of Operational Research,vol. 298, no. 2, pp. 496-509, 2022. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.05.048